

HET UITBALANCEEREN VAN DORSCHTROMMELS  
EN ANDERE SNELROTEERENDE  
MACHINEDEELEN  
(EEN NIEUWE METHODE)

DOOR

IR. M. W. POLAK.

INLEIDING.

Zooals bekend is, kunnen snelroteerende machinedeelen, zooals dorschtrommels e.d., aanleiding geven tot hinderlijke trillingen, die bovendien de levensduur van de machines verkorten. Deze trillingen kunnen, door het op de juiste plaats aanbrengen van geschikte gewichten, verdwijnen en het opsporen en aanbrengen van deze tegenwichten wordt met de minder fraaie naam „uitbalanceeren” bestempeld.

Eenige jaren geleden vroeg een fabrikant van dorschmachines, die moeilijkheden ondervond met het uitbalanceeren van dorschtrommels, mijn advies en het onderzoek dat van deze vraag het gevolg was (en hier nader besproken zal worden) gaf aanleiding tot beschouwingen, die naast reeds bekende zaken, ook enkele nieuwe gezichtspunten opleverden.

Het uitbalanceeren van dorschtrommels verschilt principieel niet van het uitbalanceeren van andere snel roteerende machinedeelen, zooals roteerende deelen van dynamo's, stoomturbines e.d. Een verschil dat van beteekenis zou kunnen zijn, is de graad van nauwkeurigheid waarmede het uitbalanceeren moet geschieden. Ook in dit opzicht geloof ik echter niet, dat belangrijk onderscheid aanwezig is. Immers, tegenover het betrekkelijk lichte gewicht en het niet zeer hooge aantal omwentelingen van de dorschtrommels, staat het feit, dat de dorschmachine op wielen staat en ook door zijn verdere bouw gevoelig is voor tril-

1577979

lingen. Het hier aangeroeerde punt, *de graad van nauwkeurigheid*, waarmede men moet uitbalanceeren, is m.i. een punt van groot belang, ook met het oog op het beoordeelen der verschillende methoden. Bij het zoeken naar een goede praktische methode van uitbalanceeren, voor een bepaald doel, moet men feitelijk vooraf de gewenschte graad van nauwkeurigheid, door proefneming vaststellen. Het komt mij voor, dat aan dit *uitgangspunt*, nog te weinig aandacht is geschonken.

Ook voor de dorschtrommels was ik tot mijn spijt tot nu toe niet in de gelegenheid, daaromtrent proeven te nemen. Wel kan ik mededeelen, dat, volgens een opgave uit de praktijk, bij een bepaald type dorschmachine geen grooter overwicht mocht worden toegelaten, dan ongeveer 20 gram aan een straal van 10 c.M.

#### STATISCH EN DYNAMISCH UITBALANCEEREN.

De dorschtrommels werden (en worden meestal nog) uitgebalanceerd, door de trommel met de as te laten rusten op twee horizontale rails. Men brengt dan, door probeeren, contragewichten aan, totdat men bereikt, dat de trommel in elken stand stil op de rails kan blijven liggen. De vraag werd mij nu gesteld, of ik dit „probeeren” zou kunnen vervangen, door een meer methodische wijze van werken, om plaats en grootte der tegenwichten te bepalen.

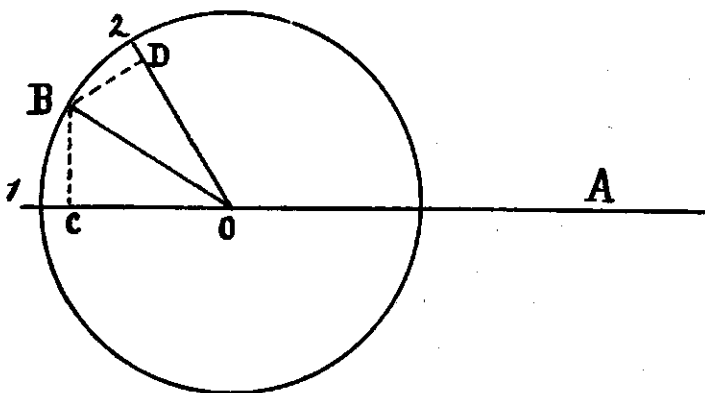


Fig. 1.

Ik overwoog toen o.a. de volgende manier: Om de as wordt een beugel geklemd, waaraan een hefboom verbonden is, die voorzien is van een schuifgewicht. Men zorgt dat dit instrument bij een bepaalden (nul-) stand van het schuifgewicht, zelf uit-

gebalanceerd is. Plaatst men nu de trommel op de rails en de beugel om de as, dan kan, bij bepaalden trommelstand, de hefboom zuiver horizontaal gezet worden en het schuifgewicht zoodanig worden verschoven, dat er evenwicht is. Men meet dan feitelijk de grootte van het moment, dat bij bedoelden trommelstand moet worden aangebracht, om evenwicht te maken. Herhaalt men deze proef voor een anderen bepaalden trommelstand (dus, door de trommel een bekenden hoek te draaien en de beugel weer horizontaal te plaatsen) dan kan men plaats en grootte van het tegenwicht uit deze twee metingen bepalen.

Hoe dit in het algemeen geschieden kan, blijkt uit Fig. 1. O. is het middelpunt van de as. OA stelt de horizontaal geplaatste hefboom voor. Neem aan, dat B. de plaats is waar het benodigde tegenwicht gedacht kan worden. Bij de geteekenden stand (waarbij een punt I van de trommel op een horizontale straal ligt) kan OC het moment voorstellen, dat door het tegenwicht wordt uitgeoefend. Dit moment is door onze meting bekend en kan dus op straal I worden afgezet. De loodlijn in C op die straal opgericht, moet B bevatten. Is (2) het punt, dat bij de tweede proef op de plaats van (1) zal worden gedraaid, dan kunnen wij, door het dan gemeten moment OD af te zetten en daarop de loodlijn DB op te richten, B bepalen. Men kan nu in B, of ergens op straal OB een tegenwicht aanbrengen, zoodanig dat dit gewicht vermenigvuldigd met zijn straal een moment ter grootte van OB oplevert.

De hier geschetste methode <sup>1)</sup>, is voor de praktijk slechts in bijzondere gevallen bruikbaar, in het algemeen is, zooals blijken zal, een dergelijke (zoogenaamde statische) methode on-

---

<sup>1)</sup> Deze methode komt principieel overeen met die van Martin (zie „De Ingenieur” van 29 Juli 1922 blz. 587—593). Uit het bovenvermelde blijkt tevens dat twee metingen voldoende zijn; het doen van acht bepalingen, zooals Hamilton Martin aangeeft is overbodig. Bovendien kan worden opgemerkt, dat een constructie geheel vermeden kan worden, indien men (wat om praktische redenen dikwijls een voordeel kan zijn) uitbalanceert, door twee tegenwichten op vooraf daarvoor bestemde plaatsen aan te brengen.

Denken wij eens, dat deze plaatsen 90° van elkaar liggen en dat men de meting uitvoert als één dezer plaatsen, vertikaal onder of boven de as ligt, dan meet men feitelijk direct de grootte van het tegenwicht, dat op de andere plaats moet worden aangebracht.

Opgemerkt kan nog worden, dat Martin (die bij zijn toestel hefboomen met messen gebruikt) opgeeft, dat een zwaartepuntsafwijking van 0.0005 m.M. kan worden gemeten. Daar hij echter de as laat rusten in een v vormig stuk, waarin de as in verschillende standen wordt gedraaid, is alleen al het niet volkomen rond zijn van de as, voldoende om een dergelijken graad van nauwkeurigheid in den weg te staan.

bruikbaar. Ik heb deze methode dan ook niet uitgevoerd, omdat ik op grond van nadere overdenking tot de volgende moeilijkheid kwam.

Bij de hier bedoelde dorschtrommel (zie photo fig. 5) waren de beide zijschotels de aangewezen plaatsen voor het aanbrengen der tegenwichten en ik vroeg mij af, hoe ik nu het door meting gevonden tegenwicht zou moeten aanbrengen. Moest ik dit aan één kant aanbrengen, of links en rechts een gedeelte?

Stellen wij ons eens voor, dat wij een absoluut goed uitgebalanceerde trommel hebben en dat men opzettelijk een overwicht aanbrengt b.v. in de *rechter zijschotel*. Wordt deze trommel nu onderzocht en wordt het gevonden *tegenwicht* (op de juiste plaats) aangebracht in de *linker zijschotel*, dan zou dit, als de trommel op de rails geplaatst is, den schijn verwekken, alsof de trommel weer volkomen goed uitgebalanceerd was. Immers het zwaartepunt van het geheel ligt in de as. Men ziet echter direct in, dat de trommel, in draaiende toestand gebracht, wel degelijk *aanleiding geeft tot trillingen* en dat van goede uitbalanceering nu niet gesproken mag worden. De centrifugaal krachten op overwicht en tegenwicht uitgeoefend geven n.l. aanleiding tot een koppel (waarvan het vlak *draait*) dat, vooral bij groote trommellengte, van beteekenis kan zijn. Het overwicht zal in hoofdzaak trillingen opwekken in het rechter kussenblok, het tegenwicht in het linker; slechts als overwicht en tegenwicht in één vlak ( $\perp$  op de as) lagen, zou de trillingsvrije gang verkregen worden.

Een trommel, die op de rails in elken stand in evenwicht is, noemt men statisch uitgebalanceerd; een dergelijk trommel *behoeft* dus nog niet zich als uitgebalanceerd te gedragen, indien zij in draaiende beweging wordt gebracht. Een *statische* methode voor uitbalanceeren is *dus onvoldoende* (behalve bij zeer smalle lichamen) en men moet een methode hebben, waarbij men het machinedeel kan onderzoeken terwijl het in draaiende beweging is. Men noemt dit een dynamische methode.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Op de fout in het genoemde artikel van Martin, dat hij niet laat uitkomen, dat zijn methode *slechts* een „statische” is, is gewezen door Prof. Ir. Dresden en Ir. Bargeboer (zie „de Ingenieur” No. 31 en 33, 1922). Zie ook reeds „Die Dampfturbinen” van Dr. A. Stodoia 1903 blz. 53. Bovendien kan in dit verband nog worden gewezen op een verkeerde voorstelling van Martin in het genoemde artikel (blz 588 2e kolom). Hij zegt daar, dat men in de praktijk, eerst de as en dan stuk voor stuk elk der te bevestigen deelen uitbalanceert, (waarmede dan bedoeld wordt „statisch uitbalanceert”). Hiertegen kan worden opgemerkt, dat er ten eerste methoden bestaan, waarbij men dit *niet* doet en *niet* *behoeft* te *doen*, en ten tweede, dat ook dit middel *niet* *afdoende* *behoeft* te *zijn*, o.a. indien de aan te brengen stukken lang zijn.

Indien men een dynamische methode toepast, kan vooraf reeds worden opgemerkt dat men zal kunnen volstaan met het aanbrengen van slechts *twee* tegenwichten, die niet in één vlak loodrecht op de as zijn gelegen. Eén tegenwicht in elk der zijschotels van de dorschtrommel aangebracht, moet dus voldoende kunnen zijn. Om dit aan te toonen kunnen wij ons denken, dat de trommel eerst statisch wordt uitgebalanceerd, waarbij wij ons voor het gemak der voorstelling denken, dat het daarvoor noodige tegenwicht gelijkelijk over de beide schotels wordt verdeeld.<sup>1)</sup> Wij krijgen dus in de schotels twee gelijke gewichten, die gelegen zijn op een lijn evenwijdig aan de as. In fig. 2. Stelt A één dezer tegenwichten voor; het in de andere schotel liggende gelijke tegenwicht  $A_1$  waarvan de projectie met A samenvalt, is niet

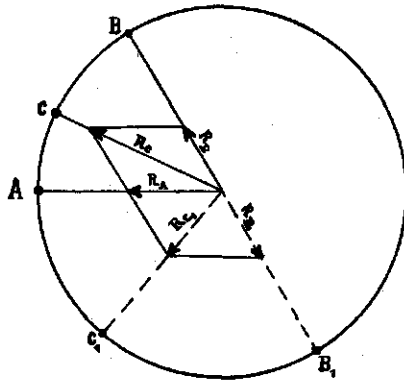


Fig. 2.

aangegeven. Zooals wij gezien hebben, kan er na het statisch uitbalanceeren nog een koppel ontstaan, indien wij de trommel in draaiende beweging brengen. De werking van dit koppel kan worden opgeheven door het aanbrengen van twee *gelijke tegenover elkaar geplaatste* tegenwichten b.v. B en B<sub>1</sub>; B in de voorste zijschotel B<sub>1</sub> in de achterste. Nu is duidelijk, dat wij de beide gewichten A en B in de voorste schotel hadden kunnen vervangen door één gewicht, b.v. C, zoodanig dat de door C opgewekte centrifugaalkracht  $R_C$  gelijk is aan de resultante van de beide centrifugaalkrachten opgewekt door A en B ( $R_A$  en  $R_B$ ). Hetzelfde geldt nu ook voor de andere zijde. Daar kunnen wij dus ook met één gewicht, C<sub>1</sub>, volstaan.

1) Een andere verdeling is niet van invloed op het eindresultaat, daar hierdoor het later te noemen koppel zoodanig verandert, dat het eindresultaat hetzelfde blijft.

De boog  $C C_1$  kan een willekeurige waarde hebben. Is deze boog nul graden, dan wijst dit er op, dat men met statisch uitbalanceeren had kunnen volstaan; is de boog  $180^\circ$  dan was de machine reeds statisch uitgebalanceerd.<sup>1)</sup>

*Het vraagstuk van het uitbalanceeren, kan dus worden teruggebracht, tot de vraag naar grootte en ligging van de tegenwichten C en  $C_1$ .*

#### HET UITBALANCEEREN DOOR PROBEEREN.

De meest primitieve manier om naar aanleiding van het besprokene, tot uitbalanceering van een machinedeel over te gaan zou nu zijn, het machinedeel te laten draaien en door „probeeren”, de plaats en grootte der twee tegenwichten C en  $C_1$ , waarmede de machine rustig loopt, op te sporen.

Op het eerste gezicht, zou men misschien meenen, dat deze manier, die misschien doet denken aan het door „probeeren” openen van een klokslot, een onbegonnen werk zou zijn. Indien het echter juist is, dat het overwicht C dat men zich b.v. *rechts* aanwezig denkt, in hoofdzaak trillingen opwekt in het *rechter* kussenblok (zooals bij onze dorschtrommel het geval is)  $C_1$  in het *linker*, dan wordt de zaak eenvoudiger. De vraag blijft echter of de trillingen voldoende waarneembaar zijn en voldoende sterk toe en afnemen bij wijziging van het tegenwicht, om zuiver genoeg te kunnen werken. Ik acht het niet onmogelijk, dat deze manier in enkele gevallen bruikbaar kan zijn, omdat het toch dikwijls juist kan zijn, dat *niet* of weinig waarneembare trillingen, ook niet tot *grote* bezwaren aanleiding zullen geven. Vooral voor reeds opgestelde machines, die blijken niet voldoende te zijn uitgebalanceerd, zou men in deze richting kunnen werken. Natuurlijk moet het aanbrengen der tegenwichten voldoende gemakkelijk uitvoerbaar zijn en herhaalde wijziging van richting en grootte der opgewekte centrifugaalkracht op eenvoudige wijze kunnen worden verkregen. Zoo kan men zich b.v. een om de as geklemde beugel dicht bij een kussenblok denken, die in verschillende standen kan worden gezet en die een gewicht bevat, dat men b.v. langs een straal op verschillende afstanden van de as kan instellen. Stelt men dit gewicht zóó, dat de beugel niet uitgebalanceerd is, maar overigens vrij willekeurig, dan kan men den stand van den beugel opzoeken, waarbij de trilling zoo gering mogelijk is. Door daarna het gewicht langs den straal te verschuiven, totdat de trilling zoo goed mogelijk verdwijnt

<sup>1)</sup> Afgezien van den invloed van later te bespreken luchtweerstand en d.

(aan één kant), kan men ook de grootte van een op zekeren afstand van de as aan te brengen tegenwicht opgeveer vaststellen. Een bezwaar van een dergelijke probeermethode is o.a., dat men de machine herhaaldelijk moet stilzetten en weer op gang brengen, wat, als men hiervoor niet speciaal ingericht is, zeer veel tijd verbruikt. Indien men er echter in zou slagen een eenvoudige betrouwbare inrichting te maken, waarbij de noodige verplaatsingen van het hulpgewicht, *onder het loopen konden worden uitgevoerd*, dan stond de probeermethode er heel wat beter voor en was zij (indien wij tevens over een voldoende scherpe „indicator” beschikken, waarover later;) *waarschijnlijk een van de beste*. Het is dan ook niet het „probeeren”, dat in het algemeen een nadeel is van een „probeermethode” (immers, het instellen van een schuifgewicht op een buscule berust ook op probeeren) maar de zeer langen duur, waarmee dit probeeren dikwijls gepaard gaat.

Ik heb bij mijn proefnemingen ook een dergelijken beugel ontworpen, waarbij met betrekkelijk primitieve middelen, een verstelling naar wensch onder het loopen kon plaats hebben. Daar hiermede echter nog geen voldoende bruikbare resultaten werden bereikt en ik geen gelegenheid had in deze richting verder te werken, wil ik dit hier verder onbesproken laten <sup>1)</sup>.

#### HET DUIDELIJK WAARNEEMBAAR MAKEN VAN KLEINE OVERWICHTEN.

Maar, ook al *beschikt men* over een bovenbedoeld instrument, dan nog zal deze manier, evenals elke andere manier, van uitbalanceeren, behoefte gevoelen aan een voldoende scherpe „indicator”. Aan iets, dat op gevoelige wijze waarneembaar maakt *of er nog overwicht aanwezig is of niet*. Indien het waarnemen van de trilling in de kussenblokken in het algemeen een te grove methode zal zijn, dan zal men allicht op het denkbeeld komen beurtelings één der kussenblokken *niet* vast te klemmen aan een zware massa of fundatie, maar dit blok juist uiterst bewegelijk op te stellen, b.v. zoodanig dat het zich praktisch kan bewegen in een horizontale richting loodrecht op de as. Dit kussenblok zal dan een trillende beweging gaan uitvoeren,

---

<sup>1)</sup> In een artikel van Heymann in Electr. Zeitschr. 1919 wordt een inrichting genoemd, die hetzelfde doel beoogt. Verder heeft ook Akimof iets dergelijks in zijn machine toegepast; een korte beschrijving van deze machine vindt men in Engineering 1920 II blz. 737. Of deze inrichtingen in de praktijk goed voldoen is mij niet bekend.

die men door veeren kan versterken, of vergroot kan weergeven <sup>1)</sup> of ook, zooals ik deed, zorgen dat de opgewekte trilling een heftig „rammelen” ten gevolge heeft. Dit laatste kan men o.a. bereiken door de beweging tusschen twee stuitingen tot een uiterst geringe te beperken.

Het zal in de meeste gevallen noodig zijn, dat het andere kussenblok een kleine richtingsverandering van de as niet belet. Dit kussenblok moet dan of draaibaar zijn opgesteld, of een kogelkussenblok zijn van zoodanige constructie, dat slingeren van de as mogelijk is.

Indien wij de constructie van de uitbalanceerinrichting verder zoodanig kunnen uitvoeren, dat het punt (beter gezegd de lijn) waarom het roteerende machinedeel slingert, valt in één der vlakken, waarin straks één der tegenwichten ( $C$  of  $C_1$ ) zal worden aangebracht, bereiken wij, dat de slinging *uitsluitend* veroorzaakt wordt door het overwicht, dat wij ons in het vlak waarin het andere tegenwicht zal worden aangebracht, aanwezig kunnen denken. Bepaalt men dus (volgens welke methode men dit doet laat ik voorloopig in het midden) het tegenwicht, dat dit slingeren geheel doet verdwijnen, dan is dit ook zuiver het tegenwicht, dat men moet aanbrengen. Meestal (en ook bij het toestel voor het uitbalanceeren van dorschtrommels was dit het geval) zal men, om constructieve redenen, aan de genoemde voorwaarde slechts bij benadering voldoen. Ik gebruikte de kogelkussenblokken als draaipunt, de zijschotels der dorschtrommel als plaats voor het aanbrengen der tegengewichten. Als nu de dorschtrommel slingert om het linker kussenblok (het rechter is dus tijdelijk bewegelijk opgesteld) dan is het tegenwicht, dat in de rechter zijschotel noodig is om dit slingeren te doen ophouden, slechts *bij benadering* het tegenwicht dat wij daar noodig hebben. Immers, indien wij deze proef zouden herhalen nadat in de linkerzijschotel het *daar* noodige tegenwicht was aangebracht (en dan eerst zouden wij rechts de juiste waarde vinden) zullen wij voor rechts een iets gewijzigd tegenwicht vinden. Door voorloopig aanbrengen van de gevonden tegengewichten bij eerste meting en nog eens herhalen van de proef bereikt men spoedig een afdoende benadering, daar tengevolge van de groote lengte der dorschtrommel de fouten gering zijn. Natuurlijk is het ook mogelijk uit de twee metingen door berekening de juiste tegengewichten af te leiden, maar het ongewij-

---

<sup>1)</sup> In verband hiermede raadplege men het reeds genoemde artikel van Heymann, waarin een „optische” methode wordt vermeld.



zigt aanbrengen der bij eerste meting gevonden tegenwichten, zou onjuist zijn.<sup>1)</sup>

Het duidelijker maken der trillingen, door het vrije kussenblok met een veer te verbinden werd behalve door anderen ook door de reeds genoemde Lawaczeck toegepast.

Deze interessante methode, waarop ik later terug kom, omdat uit mijn beschouwingen zal blijken, dat zij nog kan worden aangevuld, wil ik kort vermelden; voor nadere bijzonderheden, verwijs ik naar de in de laatste noot genoemde artikelen. Lawaczeck plaatst het vrije kussenblok op een lange platte veer; hij brengt het uit te balanceeren machinedeel eerst op snelheid en schakelt dan de aandrijving geheel uit. Op het moment, dat de omwentelingssnelheid zoo veel is gedaald, dat zij overeenkomt met het *trillingsgetal* van de veer, worden de slingeren (ook bij zeer kleine overwichten) sterk vergroot, zoodat op deze wijze een zeer gevoelige „indicator”, voor het al of niet uitgebalanceerd zijn, is verkregen.

#### BEPALING VAN PLAATS EN GROOTTE DER TEGENWICHTEN.

Lawaczeck gaat nu echter verder en geeft een *methode* om de *plaats* van het tegenwicht door *meting* te bepalen. De *grootte* bepaalt hij dan nog door probeeren. Hij gaat als volgt te werk: De slingeren die het kussenblok uitvoert, worden gedurende een kort tijdvak, waarin ook het moment ligt waarop juist de heftigste slingeren plaats hebben, opgeteekend, op een op het eind van de as bevestigd diagrampapier. Lawaczeck laat daarna de machine in tegengestelde richting loopen en neemt weer een diagram (met andere kleur geschreven) over het eerste heen. Het resultaat ziet men in fig. 3. De symmetrielyn A B geeft

<sup>1)</sup> De manier om het uit te balanceeren machinedeel om een vast punt te laten slingeren en het tegenwicht te bepalen, dat die slinger opheft wordt ook toegepast door Dr. Ing. Fr. Lawaczeck en door hem reeds beschreven in Zeitschr. f. d. g. Turbinenwesen 1911. Heft 28 blz. 437, waarbij echter moet worden opgemerkt, dat Lawaczeck een fout maakt bij een krachtenontbinding, die hem tot de conclusie voert, dat men (afgezien van de ligging der draaipunten) met het werkelijk aanbrengen der door twee metingen gevonden tegenwichten zou kunnen volstaan. Dit is zooals hierboven is betoogd, onjuist. Toen ik eenige maanden geleden welwillend in de gelegenheid was gesteld bij Heemaf te Hengelo, een uitbalanceerinrichting van Lawaczeck (die overigens zeer vernuftig is) te bezichtigen, bleek mij dan ook bij navraag, dat men veelal niet met twee metingen kan volstaan.

Vermeld kan nog worden, dat Heidebroek in een artikel in Zeitschr. d.V.d.I. (8 Jan. 1916 blz. 32) de foutieve redeneering van Lawaczeck (Heidebroek spreekt daar van „geschickten Kunstgriff”) overneemt.

de gezochte plaats aan, terwijl men ook in staat is, te zien aan welke zijde het tegenwicht moet worden aangebracht.<sup>1)</sup>

Om nu, door probeeren, vast te stellen hoe groot het overwicht moet zijn laat Lawaczek, de trillingen die het kussenblok uitvoert opteekenen op een stilstaand papier. Door nu het tegenwicht te veranderen en te zien of de streepjes langer of korter worden kan men concluderen of men te veel of te weinig heeft. De streepjes van elke proef worden op handige wijze onder elkaar opgeteekend.

Men zou misschien meenen, dat uit de lengte der streepjes (des noods met empirische schaal) direct tot de grootte van het

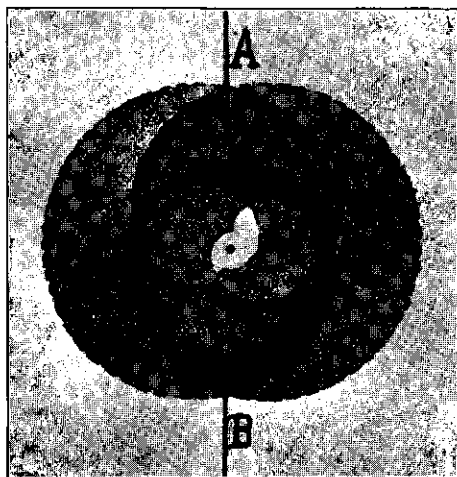


Fig. 3. Diagram verkregen met de machine van Zawaczek.

overwicht kon worden besloten. Dit is echter minder eenvoudig, omdat grootte en vorm van de uit te balanceeren massa, invloed op de grootte der uitslag uitoefenen. Men zou dus voor elke massa een andere schaalverdeling moeten hebben. In het algemeen kan men opmerken dat elke methode, die de slingeringen op geschikte wijze grafisch opteekent ons theoretisch voldoende gegevens verschaft om de tegenwichten te bepalen. In den regel

<sup>1)</sup> Aan het ter demonstratie gegeven diagram, is, naar ik meen te zien, dat de schrijfstift zich niet zuiver bewogen heeft langs een lijn, die door het midden van de as gaat. Deligging der beide stompe punten (dicht bij het middelpunt), die de max. uitslagen naar het middelpunt toe aangeven, doen mij dit vermoeden. Indien men de noodige ervaring heeft en de noodige zorg aan de diagrammen besteedt, schijnt men er zeer nauwkeurige resultaten mede te kunnen verkrijgen.

zal deze theoretische mogelijkheid echter niet tot een praktisch bruikbare methode voeren.

De door mij toegepaste *dynamische* methode om plaats en grootte der overwichten  $C$  en  $C_1$  te bepalen, wijkt nu van de methode van Lawaczeek en anderen af en **vertoont de eigenaardigheid, dat men, vrijwel rechtstreeks, de grootte der door  $C$  en  $C_1$  opgewekte centrifugaalkrachten kan meten.**

Het principe waarop deze methode berust, kan op de volgende wijze duidelijk worden gemaakt.

Denken wij ons het uit te balanceeren machinedeel zoodanig opgesteld, dat op de beschreven wijze, de as een vast draaipunt heeft, terwijl aan de andere zijde het kussenblok met zoo weinig mogelijk weerstand in een horizontaal vlak kan bewegen. Dit is o.a. bij benadering te bereiken door (zie fig. 4) onder het kussenblok een lange staaf met draaipunt  $A$  aan te brengen. Twee stuitingen  $S$  en  $S_1$  kunnen de slingeren binnen bepaalde grenzen houden. Laat men de machine nu draaien, dan zal (als deze niet voldoende is uitgebalanceerd en de speling tusschen de sluitingen niet te groot is) een meer of minder heftig „rammelen” tusschen de (stijfgebouwde) stuitingen optreden. Door de speling gering te maken kan men ook bij zeer kleine krachten dit rammelen duidelijk waarnemen. De constructie moet zoodanig stijf zijn uitgevoerd, dat het toestel ook bij aanmerkelijk overwicht, toch nog behoorlijk rustig staat indien wij de speling totaal opheffen. Het „rammelen” (afgezien van geluiden die eventueel ontstaan, als in het kussenblok zelf te veel speling is) houdt dan totaal op.

Dit zal óók het geval zijn, indien wij de speling tusschen de stuitingen laten bestaan, maar de rustplaats van het kussenblok, door een kracht  $K$  (zie fig. 4) tegen één der stuitingen aantrekken. Tenminste, als die kracht  $K$  groot genoeg is. Is  $K$  te klein dan begint het „rammelen” weer.

Stel dat het overwicht  $C$  in den geteekenden stand aanleiding geeft tot een centrifugaalkracht  $P$ , zoodanig, dat de horizontaal ontbondene  $P_1$  gelijk en tegengesteld is aan  $K$ . Zoodra de trommel nu iets verder draait, neemt  $P_1$  in grootte toe en is het evenwicht verbroken. Het kussenblok zal zich versneld van de stuiting af bewegen, totdat  $C$  gekomen is op de symetrisch gelegen plaats  $B$ ; daarna beweegt het zich vertraagd in dezelfde richting, de snelheid wordt nul en verandert van richting en, als  $C$  b.v. in  $D$  gekomen is, zal de stuiting weer worden bereikt. Maakt men  $K$  precies gelijk aan  $P$  dan is er (afgezien van trillingsverschijnselen in het materiaal van de stuiting e.d.) geen

reden waarom „rammelen” zou optreden. De vraag is echter of wij bij zeer kleine vermindering van  $K$  reeds „rammelen” zullen kunnen waarnemen. Was de kracht, waarbij het „rammelen” optrad werkelijk belangrijk kleiner dan  $P$ , dan zou men met een empirische schaalverdeling moeten werken, en bovendien voor dezelfde moeilijkheid staan als bij de machine van Lawacreck, n.l. dat deze schaal voor elke uit te balanceeren massa misschien zeer verschillend zal uitvallen. Verder is voor de zuivere meting van belang of het moment waarop het „rammelen” begint of ophoudt, voldoende scherp te constateeren is, terwijl ten slotte gevraagd kan worden naar de kleinste overwichten, die op deze wijze nog kunnen worden aangetoond.

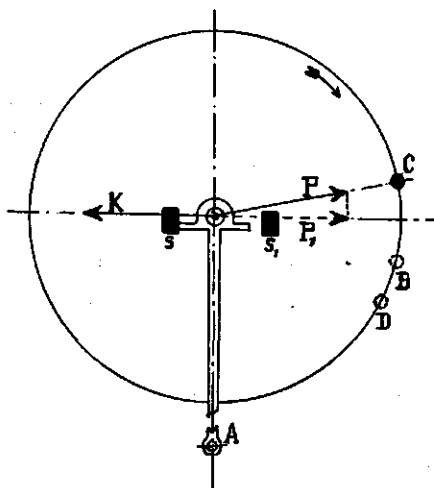


Fig. 4.

Het experiment kan in de eerste plaats op deze vragen antwoord geven.

Bij de proeven met de dorschtrommel werd de kracht  $K$  gemeten met een veerunster, die door het aandraaien van een moer gespannen werd (zie foto fig. 5) Oorspronkelijk werkte ik met vrij sterke unsters die tot 200 en 250 K.G. konden meten, maar het bleek mij, dat de trandradoverbrenging, die in deze unsters aanwezig is, op den duur tegen het „rammelen”, dat bij groote krachten zeer heftig kan zijn, minder goed bestand was.

Daar men bovendien rustiger en nauwkeuriger werkt met kleinere krachten, vooral ook omdat men bij groote krachten eerder last krijgt van trillingen in het toestel zelf, besloot ik het uitbalanceeren *in twee gedeelten te doen*. De grove fouten werden

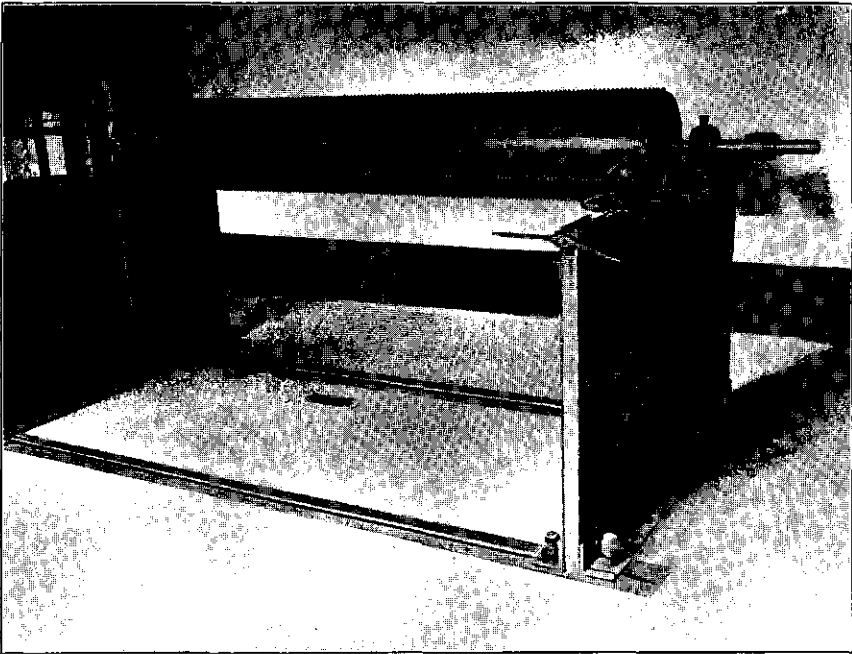


Fig. 5.

Toestel voor het uitbalanceeren van dorschtrommels. De beide stijve frame's, elk bestaande uit twee ijzeren platen, door bouten verbonden en door planken op afstand gehouden, zijn op de machinefundatie van het laboratorium bevestigd.

er uitgehaald bij circa 700 omwentelingen per minuut, de kleinere daarna bij ongeveer 1270 omwentelingen p.m. Op deze wijze kan men voor de in de praktijk voorkomende overwichten, met een klein zakveerbalansje volstaan.

Bij 1270 toeren moest op deze wijze een overwicht van 10 gram aan een straal van 13 c.M., in verband met de verdere verhoudingen van het toestel, aangegeven worden door een kracht van ongeveer 2.2 K.G. aan de unster. Een dergelijk overwicht kon nog vrij goed gemeten worden, terwijl overwichten van minder dan 5 gram nog waarneembaar zijn. Het toestel dat ik gebruikte was betrekkelijk primitief gebouwd; de kracht noodig om het vrije kussenblok uit de rusttoestand in beweging te brengen bedroeg ongeveer  $\frac{3}{4}$  K.G., terwijl het totaal gewicht van de dorschtrommel ongeveer 160 K.G. bedroeg. De gevoeligheid van het toestel zal dus nog kunnen worden verbeterd, daar wij de wrijvingsweerstand, o.a. door het toepassen van messen, inplaats ruwe draaipunten, *aanzienlijk* kunnen verminderen. Om een denkbeeld te geven van de mate van scherpte, waarmee het aflezen kon geschieden, geef ik het volgende getallenvoorbeeld. Neem aan, dat het rammelen optreedt, als wij de kracht aan de unster verminderen tot 10 K.G., dan zal door weer spannen van de veer, dit rammelen niet onmiddellijk ophouden (waarvoor ten deele het verschil tusschen wrijvingscoëfficiënt in rust en in beweging aansprakelijk zal zijn) maar zal men b.v. tot ongeveer 11 K.G. moeten spannen om het rammelen te doen verdwijnen. De punten 10 en 11 K.G. zijn meestal scherp te bepalen en bij herhaalde waarneming zal men slechts weinig beteekenende verschillen kunnen constateeren. De schaalverdeeling, *die direct de toe te passen tegenwichten in grammen kan aangeven* moet men zóó inrichten, dat men één der beide punten (beginnen of ophouden van het rammelen) gebruikt. De schaalverdeeling kan door berekening worden gevonden, maar zal iets nauwkeuriger zijn indien wij enkele punten empirisch kunnen bepalen.

Het blijkt n.l. dat het vrijwel juist is, dat werkelijk als K ongeveer gelijk is aan P het rammelen plaats vindt, terwijl dit verschijnsel door zijn *vrijwel plotseling* optreden voldoende scherp kan worden waargenomen. De verklaring hiervan is minder eenvoudig.

Indien K zeer weinig verschilt van P zal de uitslag (althans de eerste) uiterst klein moeten zijn. Enkele aannamen en globale berekeningen deden mij bij mijn dorschtrommel een uitslag verwachten die b.v. kleiner was dan  $\frac{1}{100}$  m.M. In werkelijkheid wordt de uitslag belangrijk grooter (b.v.  $\frac{1}{2}$  m.M.) Dit zal

m.i. verklaard kunnen worden uit de (grootendeels veerkrachtige) *botsing*, die optreedt als de stuiting weer wordt bereikt. Hoewel na dit moment de krachten geruimen tijd een resultante hebben, die het kussenblok tegen de stuiting aantrekt (zie fig. 4) zal dit kussenblok dus nadat C in D is gekomen, niet rustig tegen de stuiting aanliggen, maar vele malen worden teruggekaatst en weer worden aangetrokken. Maakt men K nu vanaf de waarde P geleidelijk kleiner (afgezien van de wrijving) dan is het aannemelijk, dat wij spoedig een waarde bereiken, waarbij deze herhaalde botsingen versterkend werken op de oorspronkelijke uitwijking, deze schijnt dan zoodanig te worden versterkt, dat een (misschien niet geheel constante) bewegingstoestand ontstaat, waarbij bij elke omwenteling, slechts één botsing voorkomt en de uitslag aanzienlijk is vergroot. Indien men mathematisch zou willen nagaan of en hoe zoo'n bewegingstoestand bereikt wordt, staat men voor een ingewikkeld vraagstuk, dat ook na invoering van de noodige vereenvoudigingen een samenstelling is van een trillende beweging een versnelde beweging en herhaalde botsing, terwijl misschien de trillingen in het materiaal ook nog een rol spelen. Behalve als theoretisch vraagstuk, zou de behandeling van dit vraagstuk nog van belang zijn, omdat daaruit mede zou kunnen blijken, welke rol de massa van het uit te balanceeren lichaam speelt. Daar de in de differentiaal vergelijking optredende krachten praktisch onafhankelijk zijn van deze massa, komt het mij voor, dat grootheden, zooals de botsingssnelheid omgekeerd evenredig zullen zijn aan deze massa. Is dit zoo, dan zou een grootere massa dus met evenredig kleinere snelheid botsen en wat dit betreft, zal de hoorbaarheid van den stoot (het rammelen) dus minder goed waarneembaar zijn. Aan de andere kant zal de grootere massa die nu botst, dit rammelen weer beter waarneembaar maken. Ik acht het dus waarschijnlijk dat, bij eenzelfde aantal omwentelingen per minuut het kleinst waarneembare overwicht, bij een groote en een kleine massa *weinig* zullen verschillen. Indien dit zoo is, zou deze methode voor zeer zware massa's buitengewoon gevoelig zijn. Of deze onderstelling juist is, kan het experiment uitmaken.

Kunnen dus op deze wijze de grootte van het tegenwicht vaststellen, *omtrent de plaats verkeeren wij nog in het duister*. Om deze nader te bepalen, bracht ik op een bekende plaats een bekend gewicht aan. De nu gemeten grootte van het tegenwicht kan dienen om de gezochte plaats nader te bepalen. Men beschikt daarvoor over het diagram in fig. 6 voorgesteld, waarin slechts de drie gestippelde cirkels behoeven te worden aangebracht.

De schaal op de unster, waarop men direct het aantal grammen afleest, heeft betrekking op een bepaalde straal waaraan het tegenwicht zal worden aangebracht. Laat cirkel ABC (liefst op ware grootte) met deze straal beschreven zijn. Het aangebrachte bekende gewicht denken wij ons in A. OA bevat een gramverdeling en OP stelt het aantal grammen van dit overwicht voor.

Beschrijf nu cirkel (1) met een straal gelijk aan het aantal grammen bij eerste meting afgelezen. Daarna uit P cirkel (2) met een straal gelijk aan het aantal grammen bij tweede meting afgelezen;  $S_1$  of  $S_2$  moeten dan op de straal liggen die het gezochte tegenwicht bevat. Door nu het bekende gewicht van A naar B te verplaatsen, nog eens te meten en een cirkel (3) uit

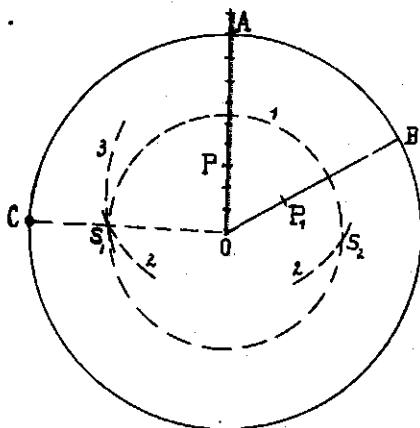


Fig. 6.

$P_1$  te beschrijven vindt men dat C de gezochte plaats is. Cirkel (3) moet zuiver door een der punten  $S_1$  of  $S_2$  gaan, zoodat de derde meting tevens een controle geeft.

Het bewijs voor deze constructie, die zoo is ingericht, dat men onmiddellijk het tegenwicht vindt volgt uit de krachtdriehoek, gevormd door oorspronkelijke centrifugaalkracht, centrifugaalkracht hulpgewicht en resulterende centrifugaalkracht. Hier kan worden opgemerkt, dat deze manier, n.l. door het aanbrengen van een bekend hulpgewicht op een bekende plaats onbekende grootheden te bepalen, ook bij het toestel van Lawaczek zou kunnen worden toegepast. Dáár echter met het doel om de grootte van het tegenwicht te vinden. Indien het juist is, dat Lawaczek zoo uiterst nauwkeurig de plaats kan bepalen als wordt opgegeven, zou de hier aangegeven manier om de



grootte te vinden zeker bijzonder nauwkeurig kunnen zijn.

De hier geschetste manier om de plaats te bepalen, die overigens praktisch bruikbaar is, heeft het bezwaar, dat, vooral bij toevallige standen, zelfs kleine meetfouten, aanleiding kunnen geven tot betrekkelijk groote fouten in de bepaling van de ligging. Voornamelijk bij kleine overwichten, waar de meetfouten relatief grooter zullen zijn, kan dit de nauwkeurigheid benadeelen. Dat een betrekkelijk kleine hoekfout, spoedig van eenige betekenis kan worden blijkt, als men bedenkt dat een tegenwicht, dat  $60^\circ$  verkeerd is aangebracht aanleiding geeft tot een resultante, die precies even groot is als de oorspronkelijke kracht, die men wilde uitbalanceeren.

Ik paste dus naast deze methode nog een andere toe, die bovendien het voordeel heeft, dat men geen constructie behoeft uit te voeren, om de plaats van het gezochte tegenwicht te vinden.

Door middel van een stukje krijt, dat met een schroef langzaam naar de as werd bewogen, werd op de trillende as een krijtstreepje gezet. Dit werd herhaald met tegengestelde draairichting. Het midden tusschen de beide middens der streepjes bepaalt dan de plaats van het tegenwicht. Ik voerde dit zóó uit, dat de trommel geheel los slingerde (dus met ontspannen unster en zóó dat geen der beide stuitingen geraakt werd) omdat bij dezen toestand, de beide streepjes dicht bij elkaar kwamen, en in de buurt van de plaats van het tegenwicht. Laat men de trommel met uiterst weinig speling rammelen tusschen de stuitingen, dan verschijnen de streepjes juist in de buurt van het overwicht <sup>1)</sup> wat iets minder eenvoudig is.

Deze krijtstreepjesmethode, op de beschreven wijze toegepast, voldeed goed en is ook voor betrekkelijk kleine overwichten in den regel zeer nauwkeurig. Hier moet echter worden opgemerkt, dat deze manier, die voor de praktijk van het uitbalanceeren van dorschtrommels zeer geschikt is, misschien minder goed zal voldoen bij zwaardere massa's, omdat de absolute uitslagen van deze massa's geringer zullen zijn bij een zelfde overwicht. Men zou dan echter het krijt kunnen bevestigen aan

---

<sup>1)</sup> Het overwicht zal, op het moment dat de uiterste stand bereikt wordt in het algemeen volstrekt niet op een horizontale straal behoeven te liggen. Indien men (zooals bij Lawaczek) een veer gebruikt met een trillingsgetal overeenkomende met het aantal omwentelingen van de machine, dan ligt het overwicht (theoretisch) op dat moment zelfs juist op een vertikalen straal. Laat men echter de machine (onder overigens gelijke omstandigheden) in twee richtingen draaien, dan ontgaat men de moeilijkheid, dat het krijtstreepje niet de plaats van het overwicht aangeeft, en wel omdat de beide streepjes symetrisch t.o.v. deze plaats worden opgeteekend.

een hefboompje, waarvan de beweging afgeleid wordt van die van de trillende massa, op zoodanige wijze, dat de betrekkelijke beweging van het krijt t.o.v. die massa sterk wordt vergroot.

Men moet echter op verschillende punten letten om goede resultaten te verkrijgen, zoo moet men er o.a. zeker van zijn dat de as goed rond is, dat het krijt zuiver op het midden van de as gericht is e.d. Verder kunnen luchtweerstand en e.d. onder bepaalde omstandigheden, de meting ongunstig beïnvloeden. Deze opmerking geldt natuurlijk ook voor de plaatsbepaling bij Lawaczeck.

#### DE INVLOED VAN LUCHTWEERSTANDEN.

Daar, voor zoover mij bekend is, van de *invloed van luchtweerstand* (en andere krachten als die als weerstand of als drijvende kracht werken) op het uitbalanceeren, in de literatuur niets wordt vermeld, wil ik op deze kwestie even nader ingaan.

Luchtweerstand, krachten door de stoom opgewekt op schoepen van turbines, krachten werkende op windingen van dynamo's of electromotoren e.d. *kunnen* bij deze roteerende lichamen als resultante een zuiver koppel op leveren. Dit *behoeft* echter niet het geval te zijn. Er kan ook bovendien een kracht ontstaan. Deze kracht veroorzaakt twee andere krachten; één (een reactie kracht) werkende op de as, die in 't algemeen met de oorspronkelijke kracht weer een koppel oplevert, en één, een kracht op het kussenblok zelf (of verdeeld over de beide kussenblokken). Deze laatste kracht nu, *die in den regel voortdurend van richting verandert, veroorzaakt trillingen van precies hetzelfde karakter als de trillingen die veroorzaakt worden door niet uitgebalanceerd zijn.*

Indien wij b.v. denken aan een ventilator, waarvan de waaier bestaat uit slechts één platte schoep, waarvan het vlak door de as gaat, zooals bij schoepen van de waaier van een wanmolen het geval is, dan hebben wij een overdreven voorbeeld van een dergelijke luchtweerstand. De trillende werking, die het gevolg is van zoo'n luchtweerstand kan dan ook door een (b.v. onder 90° geplaatst) tegenwicht worden bestreden. Indien men echter de bewegingsrichting omkeert zal dit tegenwicht juist verkeerd geplaatst zijn, terwijl ook bovendien de grootte van de weerstand niet aan zichzelf gelijk behoeft te zijn gebleven.

Uit deze opmerkingen over luchtweerstand kunnen nog enkele conclusies getrokken worden.

1. Een statische methode kan nooit het voor zoo'n luchtweerstand benodigde tegenwicht opsporen; wij zien hier dus weer *een nieuw argument voor het dynamisch uitbalanceeren.*

2. Het in de praktijk waargenomen verschijnsel, dat een dynamisch uitgebalanceerd lichaam, bij nader onderzoek bleek *niet statisch te zijn uitgebalanceerd*, kan nu begrepen worden.

3. Dat, met het oog op genoemd verschijnsel, alle methoden waarbij van twee draairichtingen gebruik gemaakt wordt, *kans loopen onzuiver te zijn*.

4. Dat het noodig is uit te balanceeren (althans te controleeren) *bij het normale aantal omwentelingen*, bij de normale draairichting en liefst met het onder normale omstandigheden werkende machinedeel, indien krachten als de besprokenen te verwachten zijn.

5. Luchtweerstand e.d., die gedurende een omwenteling van grootte of richting veranderen, kunnen niet geheel door vaste tegenwichten worden uitgebalanceerd.

Verder is duidelijk, dat men ook omgekeerd zou kunnen gaan uitbalanceeren (vrij maken van trillingen) door het opzettelijk aanbrengen van gepaste luchtweerstand e.d., inplaats van tegenwichten. Of er gevallen zijn (b.v. bij dynamo's of electromotoren, waarbij dit misschien langs electrischen weg te bereiken is) waarbij het praktisch is, voor het uitbalanceeren zelf of voor het opsporen van de benoodigde tegenwichten van het besproken beginsel gebruik te maken, zou overwogen kunnen worden.

#### DE UITVOERING VAN HET UITBALANCEEREN VOLGENS DE AANGEGEVEN METHODE.

Wij zullen nu, na deze kleine uitwijding over luchtweerstand, nog eens nagaan welke achtereenvolgende handelingen bij het uitbalanceeren van de dorschtrommel verricht moeten worden, hierbij kan de in principe beschreven methode tevens nog nader worden toegelicht.

De trommel wordt op het toestel geplaatst, zóó dat deze door een vertikale riem kan worden aangedreven vanaf een tusschen-drijfwerk, dat van de noodige losvaste schijven is voorzien en met twee snelheden in twee richtingen kan loopen. De trommel moet zóó worden opgesteld, dat hij precies zwevende is, als men speling toelaat tusschen de stuitingen. Dit kan men bij voldoende benadering bereiken, door de trommel op de wijze van fig. 4 te ondersteunen of op te hangen. Men moet dan zoo monteeren, dat het zwaartepunt vertikaal boven of onder de steunpunten komt, of de rustplaats van het kussenblok voorzien van een schuifgewicht. Ook kan men, zooals ik deed het kussenblok laten rusten op de horizontale zijde van een scharnierende

rechthoek, zoodat het op twee draaibare staven rust; de plaats van het kussenblok kan dan vrij willekeurig zijn.

Daarna laat men de trommel loopen eerst b.v. met 700 omw. per minuut. Aan één zijde is de rustplaats van het kogelkussenblok tusschen de (verstelbare) stuitingen vastgeklemd, aan de andere zijde speling toegelaten. Door de veerbalans daar te spannen en te ontspannen, wordt het moment van „rammelen” geconstateerd en het benoodigde tegenwicht voor deze zijde direct in grammen afgelezen. Dan ontspant, men de veer, laat de trommel vrij trillen en teekent een krijtstreepje aan. De trommel wordt nu tot rust gebracht (riem op losse schijf en remmen op tusschendrijfwerk) en het midden van het krijtstreepje op het oog, of met een instrument, op de trommelomtrek overgebracht. Nu laat men de trommel tegengesteld loopen en bepaalt het

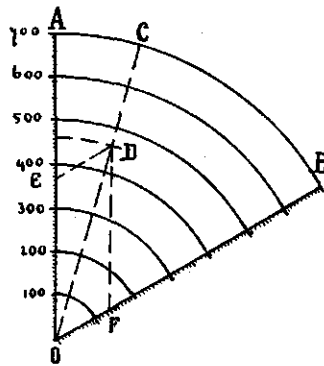


Fig. 7.

tweede krijtstreepje. Men kan nu op de plaats waar het tegenwicht moet zitten, dit aanbrengen, maar voor systematisch werken, is het handiger dit tegenwicht over twee van zes bouten, die in de zijschotel aanwezig zijn te verdeelen (dit geldt ook indien men niet met de krijtstreepjes, maar met de eerst beschreven methode werkt). Voor deze verdeling kan het in figuur 7 voorgesteld diagram dienen. OA en OB zijn verdeeld (in grammen) en even groot als de straal van de trommel; A en B stellen de plaatsen van twee bouten voor. Stel dat het tegenwicht moet komen in C, dan kan men het snijpunt D bepalen van OC met den cirkel, die het aantal grammen van het tegenwicht aangeeft. Trekt men nu DE en DF evenwijdig aan OB en OA, dan geven OE en OF het aantal grammen aan, dat men in A en B moet aanbrengen. Dit aanbrengen (onder de moeren) kan handig geschieden, indien men beschikt over een reeks plaatjes

van geschikten vorm met een gat in het midden. Men heeft b.v. plaatjes van ongeveer twee ons, een ons, vijftig gram, tien gram en vijf gram en weegt op een brievenweger het vereischte gewicht voor A en B af. Daarna herhaalt men hetzelfde voor de andere zijde en doet de geheele proef dan nog eens met hoog aantal omwentelingen. Door deze herhaalde meting en het feit, dat de kussenblokken dicht bij de zijschotels gelegen zijn is de uitbalanceering nu in het algemeen praktisch voldoende zuiver; wat men natuurlijk nog kan controleeren. Het komt mij op grond van mijn proefnemingen voor, dat op deze wijze een voor de praktijk geschikte methode voor het uitbalanceeren van dorschtrommels is verkregen. Vermoedelijk is deze methode ook voor andere doeleinden zeer geschikt.

De methode heeft het voordeel, dat het toestel eenvoudig en niet duur is, dat snel en betrouwbaar gewerkt kan worden <sup>1)</sup> en geen speciale bekwaamheid van het bedienend personeel wordt gevorderd (zooals van de methode van Lawaczek wordt beweerd).

Over de verschillende bezwaren, die ik heb moeten overwinnen wil ik hier niet uitwijden, terwijl ik ook verschillende variaties die ik heb beproefd (zooals het toepassen van hefboomen met schuifgewicht, het verkrijgen van een „indicator” door het in werking stellen van een elektrische bel inplaats van het „rammelen” e.d.) niet zal bespreken omdat deze, voor zoover ik kan nagaan minder van belang zijn. Twee punten wil ik echter nog even nader beschouwen.

#### OPMERKINGEN NAAR AANLEIDING VAN DE PROEFNEMINGEN.

In de eerste plaats een proef waarvoor ik geen besliste verklaring heb kunnen vinden.

Nadat ik de trommel behoorlijk had uitgebalanceerd, en wel zoodanig, dat geen grooter overwicht dan 5 gram aan een straal van 13 c.M. aanwezig kon worden geacht, plaatste ik een overwicht van 40 gram achtereenvolgens op elk der zes bouten van de zijschotel. Ik mat nu de opgewekte centrifugaalkracht, bracht alles in rekening (kleine variaties in aantal omwentelingen,

---

<sup>1)</sup> Nog sneller kan men werken, indien men beschikt over het reeds genoemde instrument, waarmede men onder het loopen een tegenwicht naar wensch kan verstellen. Aan dit instrument, dat zeer snel moet kunnen worden aangebracht, worden echter vrij hoge eischen gesteld. Een variatie op dit denkbeeld, die deze eischen vermindert, zou zijn dat dit instrument alleen moest dienen om de plaats te bepalen, terwijl men de grootte van het overwicht, dan op het unstertje kon aflezen.

verschillen in straal enz.) en berekende uit deze kracht de grootte van het aanwezige overwicht. Was de trommel werkelijk volledig uitgebalanceerd dan moest ik in elk geval altijd hetzelfde gewicht vinden en mat ik werkelijk voldoende zuiver de optredende centrifugaalkracht, dan moest ik overal 40 gram vinden. Het resultaat vertoonde, zooals te verwachten was afwijkingen. Deze waren echter klein en konden zelfs grootendeels worden verklaard uit het nog eventueel aanwezig zijn van een klein overwicht, zoodat het resultaat zeer bevredigend leek. Ik kwam toen echter op het denkbeeld, dezelfde proef te herhalen voor tegengestelde draairichting (bij deze draairichting bepaalde ik bij het uitbalanceeren nooit de tegenwichten) en vond toen afwijkingen, die wel niet van groote beteekenis waren, maar moeilijk te verklaren. De cijfers volgen in onderstaande tabel.

Plaats	Vooruit	Achteruit	Verschillen
1	39.5 gram	43.5 gram	— 4
2	38.5    "	46       "	— 7.5
3	37.5    "	33       "	+ 4.5
4	37.5    "	42.5    "	— 5
5	38.5    "	43       "	— 4.5
6	44       "	37.5    "	+ 6.5

De eenvoudigste verklaring voor deze cijfers zou zijn, dat wij hier te maken hebben met gewone waarnemingsfouten en deze bewering kan ik niet absoluut tegenspreken, omdat ik dan zou moeten beschikken over een veel grootere reeks cijfers, door herhaalde proefnemingen verkregen. Uit enkele herhaalde waarnemingen en het geheele verloop van de proef, heb ik echter de indruk gekregen, dat de meetfouten niet van dien aard kunnen zijn, dat het karakter van dit tabelletje ernstig gewijzigd kan worden. Deze meening wordt nog bevestigd, door een gelijke proef, die ik aan de andere zijde had genomen en waarbij, in het tabelletje voor de verschillen, precies dezelfde opeenvolging van negatief en positief kon worden waargenomen. Dat het overwicht b.v. op (2) geplaatst, *alleen door verandering van draairichting* een verschil in centrifugaalkracht schijnt aan te wijzen overeenkomende met 7.5 gram, zou op zichzelf uit het bestaan van een eenzijdige luchtweerstand zeer goed te verklaren zijn; in verband met de andere verschillen is een dergelijke verklaring niet afdoende.

Wil men het verschijnsel o.a. uit eenzijdige luchtweerstand

verklaren, dan zou men misschien moeten denken, aan een luchtweersband die, gedurende een omwenteling, van grootte of richting verandert. Voor een nader onderzoek van deze kwestie zou (behalve het doen van vele waarnemingen) het aanbeveling verdienen, het toestel zóó te richten, dat men aan twee kanten kan meten, immers indien er behalve de centrifugaalkracht, andere krachten zijn, die het toestel naar een stuiting toedrijven, dan kunnen deze misschien op die wijze worden bepaald.

In elk geval kan uit deze proef blijken, dat er invloeden zijn die storend op de zuiverheid der metingen werken en daardoor wordt het uitbalanceeren door gewichten beneden een zekere grens uiterst lastig en misschien onmogelijk, zoodat een zeer gevoelige indicator door het aanbrengen van tegenwichten nooit heelemaal tot rust zal zijn te brengen; hetgeen de praktijk ook leert.

Het tweede punt, dat ik nog wil bespreken is een gewijzigde methode voor het uitbalanceeren, die (even afgezien van de bovengenoemde bezwaren) *zoo buitengewoon gevoelig is*, dat onze gedachten onwillekeurig worden geleid, in de richting van de gevoelige balansen van chemici en physici. Nemen wij eens aan, dat de beschreven inrichting een wrijvingsweerstand vertoont pan p K.G., waarmede dus bedoeld wordt, dat een kracht van p. K.G. noodig is om de stilstaande trommel van één stuiting naar de andere te bewegen. Verder wil ik onderstellen, dat deze p K.G. (die wij desgewenscht kunstmatig kunnen vergrooten) behoorlijk constant is en ook als de trommel draait constant blijft.

Denken wij ons nu het bewegelijke kussenblok b.v. op 2 m.M. afstand van een der stuitingen en dat wij met een kracht van q K.G. trachten dit kussenblok naar de stuiting toe te bewegen dan zal dit, als q kleiner is dan p, niet gelukken. Een volkomen uitgebalanceerde trommel zal dan ook onder deze omstandigheden in draaiende toestand rustig blijven staan. Is echter de trommel niet uitgebalanceerd en is er een centrifugaalkracht K aanwezig, dan zal zoodra  $K + q$  maar even grooter is dan p, een uiterst kleine beweging in de richting van q plaats hebben. In dit geval ontstaat echter geen trillende beweging, want in de tegengestelde richting waar, ook in den gunstigsten stand, de centrifugaalkracht wordt tegengewerkt door p + q is van beweging geen sprake. Het kussenblok zal zich dus zeer langzaam met kleine schokjes in de richting van q bewegen, zoodra wij q zoo groot maken, dat  $p - q$  vrijwel gelijk is aan K. Kunnen wij dus p voldoende constant houden en bekend onderstellen, dan kunnen wij K nauwkeurig meten. Wil men deze methode toe-

passen, waarbij men niet met „rammelen” te maken heeft maar een „doorslaan” het criterium is, dan moet men dus over een *regelbare* tijdelijk constante wrijvingsweerstand beschikken. Is deze  $p$  n.l. te klein, zoodat  $K$  grooter is dan  $p$  dan is deze manier om  $K$  te *meten* niet uitvoerbaar.

De buitengewone *gevoeligheid* springt echter pas in het oog indien wij juist denken aan een wrijvingsweerstand, die wij zoo klein mogelijk hebben gemaakt. Immers, reeds bij een willekeurige wrijvingsweerstand  $p$ , zou men door  $q$  tot  $p$  te laten naderen theoretisch ook het kleinst denkbare overwicht moeten kunnen constateeren; maar een constante wrijvingsweerstand (constante wrijvingscoëfficiënt) is praktisch lang niet te bereiken. Men zal met variaties van  $p$  laten wij eens zeggen 5 % rekening hebben te houden. Dit bedrag wordt echter uiterst klein als  $p$  zelf klein wordt en dus is de methode dan het gevoeligst. Laten wij eens een getallenvoorbeeld nemen, uitsluitend met het doel *een idee te geven van de vermoedelijke orde van grootte* van deze gevoeligheid.

Neem aan, dat bij een als instrument uitgevoerd toestel (op messen steunend of opgehangen) de druk op het bewegelijke kussenblok 100 K.G. is. De kracht  $p$  zal dan b.v. kunnen worden teruggebracht tot 20 gram ( $\frac{1}{5000}$  van de last) Nemen wij aan, dat wij deze wrijvingsweerstand zoodanig constant mogen beschouwen, dat zij altijd grooter is dan 19 gram nooit grooter dan 21 gram. Wij kunnen dan  $q$ , 19 gram groot maken. Alleen indien de trommel zoodanig is uitgebalanceerd, dat het overwicht *een centrifugaalkracht oplevert*, die kleiner is dan 2 gram kan nu de roteerende massa in evenwicht blijven. Is er een grootere centrifugaalkracht aanwezig, dan heeft beweging in de richting van  $q$  plaats.

Het is niet buitengewoon om de verhoudingen van het toestel zoo te kiezen, dat de centrifugaalkracht werkende op een aan bepaalde straal gedacht overwicht, b.v. gelijk is aan 2000 keer het gewicht van dit overwicht. Een centrifugaalkracht van 2 gram zou dan opgeleverd worden, door een gewicht van 1 m.gram. Afgezien dus van talrijke te overwinnen moeilijkheden, zou men dus principiëel met een dergelijke methode b.v. een overwicht van 1 m.gram *op een gewicht van 100 K.G.* kunnen aantoonen. Anders gezegd: Indien de roteerende massa in hoofdzaak bestaat uit twee tegenoverelkaar geplaatste gewichten van 50 K.G. die elkaar uitbalanceeren, dan zou men de gelijkheid van deze gewichten tot op 1 m.gram nauwkeurig kunnen vaststellen.



De theoretische mogelijkheid om zoo verbazend gevoelig te kunnen meten, zal voor de techniek wel van minder belang zijn, maar zou toepassing kunnen vinden in de natuurwetenschappen.<sup>1)</sup>

\* \* \*

De in dit artikel vermelde methoden, waarbij men directe meting der centrifugaalkracht toepast om tot uitbalanceeren te geraken, kunnen behalve voor dorschtrommels, vermoedelijk ook met succes worden toegepast voor zwaardere machine-deelen. Indien het geschrevene tot proefnemingen in deze richting opwekt, zal ik het op prijs stellen, van de bereikte resultaten kennis te mogen nemen.

*Wageningen, December 1922.*

---

<sup>1)</sup> Ik denk hierbij vooral aan de mogelijkheid om de zoo belangrijke kwestie van de gelijkheid van zware en trage massa, aan een nader onderzoek te onderwerpen (Zie „De Ingenieur” 11 Jan. 1919 blz. 24 1e kolom.) Wel zijn daarover reeds in 1891 door Eötvös vernuftige en uiterst gevoelige metingen verricht, maar deze betreffen slechts het bijzondere en zwakke centrifugaalveld van de aarde. Een methode voor onderzoekingen in zeer sterke centrifugaalvelden is, voor zoover ik weet, niet bekend. Het is niet onmogelijk, dat de bovengeschetste manier, tot een voor dit doel bruikbare methode, verwerkt zou kunnen worden.

## THE BALANCING OF THRESHING-DRUMS AND OTHER HIGH-SPEED ROTATING MACHINERY (A NEW METHOD).

At first the author of the present article had contrived a statistical method fundamentally similar to Martin's. (See *De Ingenieur* of July 29th 1922.) He points out that by this or a similar method, two measurements are sufficient; further that the counter-poisers can be absolutely ascertained without any geometrical construction, if two counterweights be fitted in two places previously marked. However, the Author has not applied this method, because, on closer scrutiny, he met with some difficulties, which again led to the conclusion that, as a rule, the statistical method is unsatisfactory, so that balancing has to be done dynamically.

The method by which the Author in his dynamical method, hereafter described, makes small overweights perceptible, consists in his using (like Lawaczeck) one bearing as a centre of rotation, but (unlike Lawaczeck a.o.) in mounting the other bearing non-elastic but moving freely between two rigid checks at regulable distance. Owing to this contrivance a clearly perceptible „rattling” is heard, in case an overweight should be extant.

Ascertaining the quantity of the overweight, if extant, is done by measuring the centrifugal power produced by the overweight.

If (see plate 4) the movable bearing is drawn on to one of the checks, the said „rattling” will not occur in case the tractive power should be equal to or greater than the centrifugal power provoked by the overweight. Now a spring is relaxed, until the „rattling” occurs and the quantity of the overweight may be read directly from the scale annexed. In the case of a threshing-drum an overweight of less than 5 grams could be made perceptible on a radius of 13 c.M. (there being 1270 rotations per minute); 10 grams, at any rate may be pretty well ascertained. The apparatus (see plate 5) was rudely built and had rough centres of rotation. So far for the quantity of the overweight.

As to its place, the overweight was located in two ways:

1. By fitting a definite weight in a fixed place and measuring again, one can find the place of the overweight by a simple construction (see plate 6).
2. By allowing the drum to vibrate freely (i. e. without touching the checks) and by marking chalk-lines on the spindle (two rotative directions). ]

In order to keep the powers within reasonable bounds, the gross errors were removed at a relatively low speed. Then the experiment was repeated at normal speed.

The results — only a threshing drum was used in the experiment — were quite satisfactory.

The author also lays stress on the peculiar influence of air-resistance upon balancing. A one-sided air-resistance behaves in the main as an overweight, from which fact some conclusions are drawn.

Finally the author deduces from his method another one that — theoretically — may lead to an uncommonly high degree of sensibility. A similar method might be practicable in scientific experiments. The validity of Einstein's principle of equivalence for powerful centrifugal fields, for one, might be submitted to a closer inquiry.

If the present method, which proved a proper one for threshing-drums should be used for heavier machinery, the author would be thankful for any information about results obtained.

<sup>1)</sup> Periodicals are welcome to make use of the plates in this article, provided they forward an off-print to its author (IR. M. W. POLAK, Wilhelminaweg 2, Wageningen, Holland).

## INHOUD.

	Bla.
Inleiding. ....	1
Statisch en dynamisch uitbalanceeren .....	2
Het uitbalanceeren door probeeren. ....	6
Het duidelijk waarneembaar maken van kleine overwichten. ....	7
Bepaling van plaats en grootte der tegenwichten. ....	9
De invloed van luchtweerstand. ....	17
De uitvoering van het uitbalanceeren volgens de aangegeven methode .....	18
Opmerkingen naar aanleiding van de proefnemingen ...	20
The balancing of threshing-drums and other highspeed rotating machinery (a new method).....	25